

УДК 66.045.1

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Академик АН АзербССР М. Ф. НАГИЕВ, И. И. ГОЛОВАЧ

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКИХ КОМБИНАТОВ

Проектирование химических комбинатов (х.к.) представляет собой сложную, комплексную задачу. Это объясняется тем, что современные х.к. состоят из большого числа элементов, связанных между собой прямыми и обратными связями, и в процессе проектирования требуется определить значения десятков (нередко сотен) варьируемых параметров комбината. Таким образом, х.к. представляет собой большую систему, при оптимизации которой часто применяется декомпозиция, расчленяющая основную задачу на последовательность задач меньшей размерности, которые связаны между собой небольшим числом параметров. С учетом специфики химических комбинатов был предложен декомпозиционный метод их оптимизации, при котором выделяются три уровня оптимизации: глобальная, региональная и локальная. Описание каждого из них приводится в ⁽¹⁾.

В данной работе предлагается способ разбиения любого химического комплекса, позволяющий выделить задачу оптимизации тепловых связей между элементами х.к. Целевое назначение химического комплекса — получение конечных продуктов из сырьевых оптимальным (в том или ином смысле) образом. Общая цель подразделяется на отдельные подцели, реализуемые в отдельных элементах комплекса. Под элементом на разных уровнях оптимизации понимаются объекты различной структуры. Так, при региональной оптимизации в качестве элементов могут рассматриваться отдельные аппараты, а при глобальной — регионы (установки).

Введем классификацию элементов, согласно которой любой элемент х.к. будем считать *R*- или *T*-элементом. К *R*-элементам будем относить элементы, в которых в основном имеют место материальные превращения потоков (химические реакции, разделения потоков). Их будем называть реакторными элементами. *R*-элементами являются реактор, ректификационная колонна и т.д. К *T*-элементам отнесем элементы, в которых происходит тепловое преобразование потоков. Их назовем тепловыми элементами. Представители *T*-элементов — холодильники, теплообменники, печи и т.д. Эта классификация несколько условна. Так, в *R*-элементах могут иметь место тепловые превращения (например, реактор, в котором протекает экзотермическая реакция), а в *T*-элементах — химические превращения. Однако большинство аппаратов легко поддается этой классификации. При оптимизации х.к. часто возникает необходимость объединения нескольких элементов в один обобщенный элемент, тип которого зависит от типа его составляющих. Если все элементы одного типа, то такого же типа будет и обобщенный элемент. Если же обобщенный элемент состоит как из *R*-, так и из *T*-элементов, то для определения его типа требуется его исследование.

Введенная классификация позволяет на любом уровне оптимизации провести дополнительную декомпозицию задачи. С точки зрения цели производства множество *R*-элементов играет основную роль, а множество *T*-элементов — вспомогательную. При таком подходе можно считать, что х.к. состоит из множества основных *R*-элементов, связанных друг с другом некоторым множеством *T*-элементов. Таким образом, на любом уровне оп-

тимизации мы придерживаемся принципа, согласно которому функционирование T -элементов зависит от работы R -элементов. В соответствии с этим процесс оптимизации разбивается на два этапа: сначала проводится оптимизация множества R -элементов, которую будем называть R -оптимизацией, а затем в зависимости от значений входных и выходных параметров R -элементов (являющихся соответственно выходными и входными параметрами T -элементов) проводится оптимизация множества T -элементов, которую назовем T -оптимизацией. Следовательно, химический комплекс, состоящий из n элементов реакторного типа и m тепловых элементов, удобно изобразить следующим образом (рис. 1). На схеме приведены обобщенные связи между T - и R -элементами. $\bar{x}_R = (x_R^{(1)}, \dots, x_R^{(N)})$ — вектор значений выходных параметров R -элементов, а $\bar{x}_T = (x_T^{(1)}, \dots, x_T^{(L)})$ — вектор требуемых значений входных параметров R -элементов. Надо заметить, что при R -оптимизации меньше возможностей для варьирования параметров, которые должны удовлетворять целому ряду технологических ограничений. Значительно больше возможностей при T -оптимизации, где можно варьировать даже количеством T -элементов. Имеется также возможность построения систем теплообменных аппаратов, в которые поступают материальные потоки с нескольких R -элементов. На уровне глобальной оптимизации такие системы являются межрегиональными тепловыми системами.

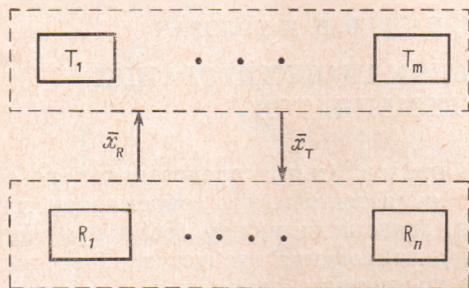


Рис. 1

Вектор $\bar{x}_T$ — функция не только $\bar{x}_R$, но и вектора варьируемых параметров T -элементов $\bar{y}_T = (y_T^{(1)}, \dots, y_T^{(L)})$. Поэтому можем записать следующее уравнение:

$$\bar{x}_T = \bar{f}(\bar{x}_R, \bar{y}_T). \quad (1)$$

На варьируемые параметры $\bar{y}_T$ налагаются технологические и экономические ограничения:

$$\Phi(\bar{y}_T) = 0; \quad \bar{\Psi}(\bar{y}_T) \geq 0. \quad (2)$$

Кроме того, задается целевая функция, зависящая от $\bar{y}_T$:

$$Z = Z(\bar{y}_T). \quad (3)$$

Таким образом, T -оптимизация в общем случае сводится к задаче математического программирования, в которой ищется $\min Z$ при ограничениях (1), (2).

Для формализации задачи каждому потоку х.к. сопоставим вектор, характеризующий данный поток,

$$\bar{b}_k = (i_k, j_k, \alpha_k, G_k, x_k, y_k); \quad k = 1, \dots, N. \quad (4)$$

Первая компонента вектора i_k соответствует элементу R_{i_k} , из которого поток поступает в T -систему. В этом случае i_k принимает значения от 1 до n . Кроме того, некоторые потоки, являющиеся входными для всего х.к., могут поступать сразу в T -систему, минуя R -элементы. Значения i_k , соответствующие таким потокам, будем считать равными нулю. Таким образом, $0 \leq i_k \leq n$. Компонента j_k определяет элемент R_{j_k} , в который поступает соответствующий поток после T -системы. Если данный поток является конечным продуктом х.к. и, следовательно, в дальнейшем не поступает

ни в один из R -элементов, то соответствующее значение $j_k = n + 1$. Таким образом, $1 \leq j_k \leq n + 1$, α_k содержит информацию о k -м потоке, необходимую для расчета T -элементов и, в свою очередь, может быть вектором; G_k – весовой расход k -го потока; x_k – температура k -го потока на выходе из R_{i_k} ; y_k – температура, которую должен иметь k -й поток на входе R_{j_k} .

Теплосодержание k -го потока Q_k в одном из T -элементов должно измениться на величину

$$\Delta Q_k = G_k \int_{x_b}^{v_k} c(\alpha_k, t) dt, \quad (5)$$

где $c(\alpha_k, t)$ — теплоемкость потока. При $\Delta Q_k > 0$ k -й поток в T -системе должен нагреваться, а при $\Delta Q_k < 0$ — охлаждаться. Из рассмотрения исключаем потоки, для которых

$$|y_k - x_k| < \varepsilon, \quad (6)$$

где $\varepsilon > 0$ — достаточно малая величина. Такие потоки направляются непосредственно из R_{i_k} в R_{j_k} , минуя T -систему. Определив все ΔQ_k , построим последовательности положительных и отрицательных величин

$$\Delta Q_1^+ \geq \Delta Q_2^+ \geq \dots \geq \Delta Q_{s_1}^+ \geq 0, \quad (7)$$

$$\Delta Q_1^- \leq \Delta Q_2^- \leq \dots \Delta Q_{s_2}^- < 0. \quad (8)$$

Последовательности (7), (8) служат основой для анализа технологической ситуации и определения оптимального множества T -элементов $T_1, T_2, \dots, T_m$ и оптимальных значений их параметров. При этом в первую очередь должна быть изучена возможность использования внутренних энергетических ресурсов потоков х.к., а именно, возможность построения систем теплообменных аппаратов, в которых охлаждаемые потоки отдают свое тепло нагреваемым. В общем случае нагреваемые потоки должны получать необходимое тепло в два этапа: сначала в теплообменных аппаратах, а затем, когда дальнейшая передача тепла в последних становится экономически нецелесообразной, в нагревательных элементах. При этом могут возникнуть ситуации, когда необходимо сообщить относительно незначительное количество тепла в нагревательных элементах целому ряду потоков. С экономической точки зрения целесообразно организовать их подогрев одновременно в одном нагревательном элементе. В связи с этим возникает задача проектирования нагревательных элементов (различных печей) для одновременного подогрева нескольких потоков.

При проектировании х.к. одновременно с данной задачей необходимо решать задачу оптимального взаиморасположения элементов х.к. Тогда в целевую функцию будут входить расстояния между элементами х.к. Эти расстояния удобно задавать при помощи симметрической матрицы:

$$P = \begin{vmatrix} \rho_{11} & \dots & \rho_{1n} & \rho'_{11} & \dots & \rho'_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & & \vdots \\ \rho_{n1} & \dots & \rho_{nn} & \rho'_{n1} & \dots & \rho'_{nm} \\ \vdots & & \vdots & & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & r_{m1} & \dots & r_{mm} \end{vmatrix}, \quad (9)$$

где ρ_{ij} — расстояние между элементами R_i и R_j , r_{ij} — расстояние между элементами T_i и T_j , ρ'_{ij} — расстояние между элементами R_i и T_j .

Так как не все элементы х.к. связаны между собой непосредственно, а существующие связи не равноценны с точки зрения транспортных затрат, то кроме матрицы (9) необходимо задать матрицу

$$A = \|a_{ij}\| \quad i, j = 1, \dots, n, \quad (10)$$

где $a_{ij} = \sum_{k \in I_{ij}} G_k$. Множество I_{ij} определяется путем анализа векторов

(4), из которых выделяются те $\bar{b}_k$, для которых $i_k = i$ и $j_k = j$. Следовательно, если между элементами R_i и R_j связь отсутствует, то $a_{ij} = 0$, если же они связаны несколькими потоками, то a_{ij} равна сумме весовых расходов этих потоков.

В зависимости от того, какие элементы матрицы (9) зафиксированы, могут быть поставлены различные задачи оптимального размещения элементов х.к. Очевидно, расстояния между T -элементами r_{ij} во всех случаях не входят в целевую функцию, так как T -элементы лишь с R -элементами связаны.

Рассмотрим некоторые частные случаи решаемых задач.

1. При всех i, j $\rho_{ij} = \text{const}$; $\rho'_{ij} = \text{const}$. В этом случае решается задача выбора соответствующих T -элементов, осуществляющих связи между R -элементами. Кроме того, производится локальная оптимизация каждого T -элемента.

2. $\rho_{ij} = \text{const}$ при всех i, j . В этом случае помимо задач, перечисленных в первом пункте, решается задача оптимального расположения T -элементов.

3. В наиболее общем случае кроме задач, перечисленных в предыдущих пунктах, решается задача оптимального расположения R -элементов.

Кроме того, могут возникнуть задачи, в которых зафиксирована лишь часть величин ρ_{ij}, ρ'_{ij} .

Описанные задачи T -оптимизации и оптимального размещения элементов х.к. должны решаться совместно, так как после каждой итерации по T -оптимизации, при которой изменяются число T -элементов и структура их связей с R -элементами, необходимо снова решать задачу оптимального размещения T -элементов по отношению к R -элементам. Эта комплексная задача может быть решена при помощи информационно-математической системы, реализуемой на ЭВМ.

Институт теоретических проблем химической технологии
Академии наук АзербССР
Баку

Поступило
18 I 1973

Ужгородский государственный университет

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. Ф. Нагиев, Теория рециркуляции и повышение оптимальности химических процессов, «Наука», 1970.